Über Wasserblüten.

Von

R. Kolkwitz.

Echte Wasserblüten werden durch starke Entwicklung planktonischer Mikrophyten erzeugt, z. B. durch Spaltalgen, wie *Polycystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos aquae*, *Oscillatoria Agardhii*[1]), *Trichodesmium erythraeum*, *Gloiotrichia echinulata* u. a. m., durch Spaltpilze, wie *Chromatium*, *Lamprocystis* u. a. m., durch Flagellaten, wie *Euglena sanguinea* usw.

Solche Wasserblüten verleihen dem Gewässer, in welchem sie in meist monotoner Zusammensetzung zur Entwicklung kommen, in der Regel eine spezifische Vegetationsfarbe, z. B. eine graugrüne, blaugrüne, pfirsichblütrote oder blutrote. Nicht selten kommt es vor, daß der Wind solche Wasserblüte, welche eine mehr oder weniger ausgeprägte Schwimmschicht bilden kann, ans Ufer treibt und dort meist als grünlichen Schlamm anhäuft. Es entstehen dann oft mehr oder weniger starke Zersetzungen, die zu Geruchs- und für Tiere auch zu Geschmacksbelästigungen führen können; wie behauptet wird, soll bisweilen auch die Entwicklung giftiger Substanzen stattfinden. Diffuse Wasserblüten, die sonst wenig auffallen, können beim Filtrationsprozeß in Wasserwerken besonders deutlich in die Erscheinung treten.

Gewässer, in denen sich Wasserblüten entwickeln können, sind häufig Seen, weshalb man auch von »Seeblüte« spricht, ferner Teiche, Flußbuchten, Haffe, langsam strömende Flüsse und Meere. Als Beispiele hierfür seien genannt: viele norddeutsche Seen, manche Schweizer Seen, Dorfteiche, die Havel besonders im Mittellauf, die Haffe der Ostsee, das Rote Meer usw.

Wasserblüten sind ein Zeichen besonderer Entwicklungskraft eines Gewässers unter gegebenen Bedingungen, gesteigerte Planktonmengen überhaupt der Ausdruck für eine gewisse selbstreinigende Kraft des süßen und salzigen Wassers. Wasserblüten gelten vielfach als der Ausdruck einer ge-

---

1) Nach meinen Untersuchungen am Lietzensee kann *Oscillatoria Agardhii* zuzeiten auch Heterocysten erzeugen und dadurch Übergänge zu *Aphanizomenon* bilden.

wissen Düngung bezw. Selbstdüngung, womit gesagt ist, daß für die Entwicklung von Wasserblüten chemische Stoffe maßgebend sind. Diese Ansicht trifft sicher zu für *Euglenen, Thiobacterien, Chlamydomonaden* u. a. m. Bei *Schizophyceen*-Wasserblüten werden gleichfalls chemische Faktoren im Spiel sein — z. B. bei *Oscillatoria rubescens,* dessen zuzeiten ziemlich reichliche Entwicklung im Zürichsee vermutungsweise zum Teil auf verunreinigende Zuflüsse von Ortschaften zurückgeführt wird, vielleicht auch bei *Aphanizomenon* nach Brönsted und Wesenberg-Lund (1), welche vermuten, daß diese Spaltalge in reinen Gewässern in der pelagischen Region nicht heimisch ist, sondern daß ihr Wachstum wahrscheinlich durch Verunreinigung des Seewassers gefördert wird —, indessen spielt bei deren Entwicklung der physikalische Faktor der Wärme gleichfalls eine Rolle, wenigstens in Fällen, wo es sich um normale Ausbildung der Fäden handelt.

Reichlich entwickelte *Schizophyceen*-Wasserblüten treten in der Regel zur heißen Jahreszeit auf, z. B. im August und September. Ihr Anwachsen würde vielleicht weniger üppig sein, wenn die *Schizophyceen* eine genügende Zahl von tierischen Feinden hätten, welche ihnen durch Fressen nachstellen. Sie sind aber im allgemeinen als ein schlechtes Futter bekannt.

Freilich sind auch bemerkenswerte Entwicklungen im Winter beobachtet und zwar gerade von Vertretern, welche auch im Sommer zu üppiger Entfaltung gelangen, z. B. aus schottischen, dänischen und norddeutschen Seen.

Hierbei muß aber die Quantität der betreffenden Spaltalgen wohl beachtet werden, ein Punkt, welcher in der vorliegenden Arbeit besonders erörtert werden soll.

Oscillatoria Agardhii fand ich im August 1911 im Lietzensee bei Berlin pro 1 ccm geschöpften Wassers in einer Menge von ca. 20000 Fäden (bei 27,5° C.), dagegen im Februar und März 1913 im gleichen See und gleichen Wasserquantum nur 15—30 Fäden, im Hermsdorfer See bei Berlin etwa 150 Fäden (bei ca. 5° C.) und im Okulsee in Ostpreußen im Winter etwa 250 Fäden (bei einer Temperatur von 2—3° C.). Im Hermsdorfer See betrug die Sichttiefe dabei 1,50 m, zeigte also unter den gegebenen Verhältnissen einen ziemlich beträchtlichen Wert, was sich dadurch erklärt, daß die *Oscillatoria*-Fäden verhältnismäßig zart waren. Sie passierten, nebenbei bemerkt, ungehindert die Maschen des Planktonnetzes Nr. 20.

Das Auftreten der *Oscillatoria Agardhii* im Winter ist offenbar durch den verhältnismäßig milden Verlauf des Winters 1912/13 bedingt worden; in den strengeren Wintern 1910 und 1911 fehlte sie im Lietzensee fast vollständig.

Die optimale Temperatur für die Entwicklung von *Oscillatoria* (speziell *rubescens*) liegt nach Wesenberg-Lund bei 5—10° C., also etwas tiefer als diejenige für *Aphanizomenen* (in typischer Ausbildung), *Gloiotrichia* und *Polycystis* (18—22° C.). Die Sporen von *Aphanizomenon* beginnen bei

10—12° C. zu keimen. Das Wachstumsoptimum für *Chroococcus limneticus*, *Coelosphaerium* u. e. m. scheint in die Winterszeit zu fallen, doch dürfte es zur Entwicklung von Schwimmschichten oder zu auffälligen Verfärbungen des Wassers nicht kommen.

Die geschilderten quantitativen Feststellungen konnten unter Benutzung der 1 ccm-Planktonkammer leicht vorgenommen werden. Sie gestatten gleichsam ein entwicklungsgeschichtliches Studium der Wasserblüten, durch welches die Beziehungen zur Chemie und Physik des Mediums deutlicher hervortreten als bei Verwendung nur qualitativer Methoden.

Da die Entnahme kleiner Schöpfproben von Wasser (meist 1 ccm) zur Untersuchung genügt und ihre Betrachtung und quantitative biologische Beurteilung schon mit schwachen, z. B. 14fach vergrößernden Lupen sehr erleichtert wird, sollte man bei derartigen Studien auf solche oder ähnliche Weise generell vorgehen. E. Naumann (1) hat sich bereits der Schöpfprobe bei Untersuchung einer grünen Wasserblüte, welche durch massenhaftes Auftreten von *Golenkinia radiata* bedingt war, bedient. Er ermittelte etwa 50000 Exemplare pro 1 ccm Wasser. H. Bethge (1) fand in der Havel bei der Pfaueninsel bis 800 Kolonien von *Polycystis aeruginosa* pro 1 ccm Wasser.

Wo etwa Schwärme oder Wolkenbildungen bei den zu untersuchenden Organismen vorliegen, kann man sich zuvor Mischproben herstellen oder eine größere Zahl von Stichproben untersuchen.

Auch in die Definition von Wasserblüten könnten quantitative Werte einbezogen werden, da jede erkennbare Wasserblüte für das ccm deutlich positive Werte ergeben wird, es müßte sich denn um so große Kolonien wie *Gloiotrichia echinulata* handeln, für die man wohl auch die 20 ccm Planktonkammer anwenden würde. S. Strodtmann (1) fand, wenn man seine Befunde auf das Kubikzentimeter umrechnet, pro 1 ccm 5—6 Kolonien nur in unmittelbarer Nähe der Oberfläche, sonst fand sich höchstens pro 20 ccm eine Kugel von *Gloiotrichia*. Strodtmann bediente sich zwar nicht der Schöpfmethode, doch ist nicht anzunehmen, daß *Gloiotrichia* die Netzmaschen passiert.

Die Minima vieler Wasserblüten können leicht übersehen werden, zumal bei bloßen Netz- oder Siebfängen, in den oben genannten Fällen sind sie aber festgestellt worden.

Der Erfahrungssatz, daß planktonische *Schizophyceen* vorzugsweise Sommerplanktonten, allgemein ausgedrückt Warmwasserpflanzen, sind, kann in großen Zügen aufrecht erhalten werden, auch für die Meere.

Die ausführlichsten Mitteilungen über die bisher an mariner Wasserblüte gemachten Beobachtungen finden wir in den sorgfältigen Bearbeitungen, die von N. Wille (1) über dieses Thema vorliegen. Danach hat z. B. die Plankton-Expedition der Humboldt-Stiftung bei Studien über *Trichodesmium*

durch quantitative Netzfänge zahlenmäßig festgestellt, daß diese Spaltalge von der brasilianischen Küste und gegen die Mitte des Nord-Äquatorialstromes eine Mengenzunahme und dann wieder ein Abnehmen nach Norden hin gegen die Azoren zeigte.

Die marinen (nicht spezifisch brackigen) *Schizophyceen*-Wasserblüten zeigen sich uns, soweit sie dem bloßen Auge auffallen, im Gegensatz zu vielen ähnlichen Erscheinungen im Süßwasser bei der enormen Größe der Meeresflächen als relativ lokale Bildungen, gleichsam als kleine Flecken. *Trichodesmium erythraeum* Ehrb. entwickelt sich in den tropischen und subtropischen Meeren nach Wille stellenweise lebhaft wahrscheinlich zunächst am Grunde und gelangt dann an die Oberfläche, wo sie dem bloßen Auge auffällig und vom Winde hin und her getrieben und in ihren Lagerungsverhältnissen beeinflußt wird, so daß sie unter Umständen in weiten Entfernungen von ihrem Bildungsherde als lokale Anhäufungen angetroffen werden kann. Im Roten Meere kann sie blutrote schleimige Massen am Ufer bilden. Als Beispiel für massenhaftes lokales Auftreten roter Meeres-*Schizophyceen*, wahrscheinlich *Trichodesmium erythraeum*, sei eine Beobachtung mitgeteilt, welche Herr Prof. Dr. O. Warburg auf einer Fahrt durch das südchinesische Meer machte und mir freundlichst mitteilte. Am 15. April 1887 wurde vom Dampfer aus eine deutliche Rotfärbung der Meeresoberfläche gesichtet, die durch massenhafte Entwicklung von *Trichodesmium* bedingt war. Das Dampfschiff befand sich halbwegs zwischen Saigon und Hongkong in 15° nördl. Br. und 110° östl. L. Es fuhr zwei Stunden lang durch die rote Masse, deren Ausdehnung also knapp 50 km betrug; ihre Breite konnte vermutungsweise auf etwa die Hälfte geschätzt werden, so daß die Gesamtfläche der roten Schwimmschicht mindestens 1000 qkm betrug. Die Algen waren in breiten Streifen verteilt, zwischen denen klareres Wasser sichtbar wurde. Die Massenvegetation war also hauptsächlich auf die oberflächlichen Schichten beschränkt. Die Stelle befand sich am Abfall eines flacheren Küstensaumes zu großer Tiefe. Sie erscheint im Vergleich zum ganzen Meeresabschnitt nur sehr klein. Im Vergleich zur Gesamtfläche des südchinesischen Meeres nahm diese Wasserblüte nur eine sehr kleine Stelle ein.

Eine zweite Art, das *Trichodesmium Thiebautii* Gomont, welche gleichfalls in tropischen und subtropischen Meeren gefunden wird, scheint im Gegensatz zu *Tr. erythraeum* spezifisch pelagisch zur Entwicklung zu kommen und keine Schwimmschichten zu bilden, sondern die Wassermassen meist bis zu einigen hundert Metern mehr oder weniger gleichmäßig zu durchsetzen. *Tr. erythraeum* scheint periodisch planktonisch, *Tr. Thiebautii* perennierend planktonisch zu sein.

Nach F. Schütt (1) fanden sich, beurteilt nach Netzfängen, in dem Sargassomeer unter 1 qm Oberfläche 746000 Zellfäden. Nimmt man an, daß diese Fäden sich in einer Wasserschicht von 1 cm Höhe an der Oberfläche

sammeln würden, so enthielte 1 ccm im Durchschnitt 74—75 Fäden, ein Wert, der im Vergleich zu vielen Fängen im Süßwasser als sehr gering bezeichnet werden muß, so daß an primärer Bildungsstätte die Massenentwicklung in den nährstoffarmen Meeren nicht erheblich zu sein scheint.

Höhere Werte fand V. HENSEN (1) für *Nodularia* an verschiedenen Stellen der Ostsee, welche überhaupt planktonreicher zu sein pflegt als die wärmeren Bezirke der Hochsee.

Im Stettiner Haff zur Zeit seiner Blüte ermittelte derselbe Autor auf 10 cbm Wasser etwa 3,5 Billionen Zellen von *Aphanizomenon*, d. s. etwa 18000 Fäden pro 1 ccm, eine Menge, welche schon einen deutlich trübenden Einfluß auf das Wasser ausübt. Diese Spaltalge gehört aber nicht dem Salzwassergebiet spezifisch an, sondern wird der Hauptsache nach nur in dieses hineingeschwemmt.

Neben den *Trichodesmien* der wärmeren Meere verdienen noch die Verwandten *Katagnymene spiralis* Lemm. und *K. pelagica* Lemm. Erwähnung, für deren Entwicklung N. WILLE (1) eine Beziehung zu den Tiefenverhältnissen des Meeres vermutet. Die beiden Algen fanden sich nämlich westlich bezw. östlich von dem seichteren Gebiet, welches sich in der Längsrichtung durch den Atlantischen Ozean hinzieht.

Aus Mangel an ausreichenden Zählungen bei Schöpfproben ist besonders bei Meeren die Beurteilung der Entstehung und Veränderung von Wasserblüten zurzeit erschwert. Einige Anhaltspunkte bieten zwar die vorliegenden quantitativen Fänge, da es sich aber um Netzfänge und nicht um Schöpfproben handelt, gestatten sie nicht immer ein sicheres Urteil; wie bereits erwähnt, gehen z. B. manche fädige *Schizophyceen* teilweise leicht durch die Maschen der feinen Seidennetze.

Wie oben schon bemerkt, gesellen sich zu den physikalischen Faktoren, welche für die Entstehung der Wasserblüten von Wichtigkeit sind, auch noch chemische. Die Natur dieser chemischen Stoffe ist zwar noch nicht bekannt, doch zeigt die Massenentwicklung vieler Wasserblüten eine auffallende Beziehung zur Anreicherung des Wassers mit organischen Substanzen.

Die Hauptmasse der im Wasser gelösten organischen Substanzen bilden im allgemeinen die Humusstoffe, welche hauptsächlich aus dem Boden und aus Pflanzenmassen ausgelaugt werden. Diese Humusstoffe bilden aber keine gute Nahrung, auf keinen Fall eine solche, daß sie etwa durch die Tätigkeit von Algen und Bakterien ganz aus dem Wasser absorbiert würden; es leuchtet aber ein, daß überall da, wo Huminstoffe ausgelaugt werden, auch andere Stoffe von höherem Nährwert in das Wasser gelangen, jedenfalls mehr als bei reinen Quellen aus nahrungsarmem Gestein und bei Schnee- und Eisschmelzwässern.

Den Ausdruck für den Gehalt des Wassers an organischen Substanzen bildet der Verbrauch an Kaliumpermanganat, bemessen nach Milligrammen

pro Liter. Dieser Ausdruck kann in vielen Fällen zugleich einen Anhalt für die Häufigkeit derjenigen Begleitsubstanzen, welchen ein Nährwert zukommt, bieten.

Da die Eigenfarbe des klaren Wassers in der Abstufung blau, blaugrün, grün, gelbgrün und gelb besonders in Seen von der Menge der beigemischten Huminstoffe abhängig zu sein pflegt, können wir die Eigenfarbe des Wassers, bestimmt durch Versenken einer weißen Scheibe, in der Regel als Maßstab für die im vorliegenden Sinne gemeinte Nährkraft eines Gewässers betrachten, in der Art, daß blaue Seen im Vergleich zu gelben nahrungsarm sind. Dieses Argument wird dadurch unterstützt, daß blaue und blaugrüne Seen, z. B. alpine, in der Regel durch Schmelzwässer von Schnee und Eis gespeist werden oder in ihrer Entstehung auf die Eiszeit zurückgehen, während Seen von gelber Eigenfarbe mehr den Ebenen mit ihren meist fruchtbareren Böden angehören.

Die Havelseen zeigen einen Kaliumpermanganatverbrauch von ca. 25 bis 30 mg pro Liter, der bereits genannte Lietzensee von 50 bis 60 und mehr mg, der fast rein blaue Genfer See dagegen nur von wenigen mg.

Ganz im Einklang mit diesen Betrachtungen sind die entsprechenden Seen der Ebenen im allgemeinen plankton- und wasserblütenreicher als diejenigen gebirgiger Gegenden.

Nach dem wenigen, was man bisher in dieser Beziehung weiß, gelten ähnliche Betrachtungen über die Zusammenhänge zwischen Eigenfarbe der Gewässer und ihrem Planktonreichtum in großen Zügen auch für die Meere.

Deutlich entwickelte und längere Zeit dauernde Wasserblüten von *Schizophyceen* sind eine fast alljährlich zur warmen Jahreszeit auftretende Erscheinung im Frischen Haff, Stettiner Haff, in den Havelseen, im Müggelsee usw., welche durchweg gelbe Eigenfarbe besitzen. Warme trockene Sommer pflegen dabei die Massenentwicklung zu fördern, kalte und nasse zu hemmen, hauptsächlich wohl wegen der geringen Wärme.

Ganz anders liegen die Verhältnisse für die blauen und blaugrünen, meist auch für die grünen Seen, z. B. den Gardasee, Vierwaldstätter See, Bodensee usw., auch für tiefe und dabei meist blaugrüne Seen der Ebene. Der Genfer See, welcher auch in diese Kategorie gehört, ist ebenfalls ohne Wasserblüte, doch trat nach F. A. Forel einmal eine ihrer Stärke und Ausdehnung nach nicht genauer beschriebene, durch *Anabaena flos aquae* bedingte Wasserblüte am 10. Dezember 1896 auf, über deren Entstehungsursachen nichts Näheres bekannt geworden ist. Aus dem gleichen Jahre beschreibt C. Schröter eine durch *Polycystis* erzeugte, ziemlich auffällige Wasserblüte in dem nährstoffreicheren Zürichsee.

Oscillatoria rubescens, das Burgunderblut, bildet auch in Seen der Voralpen vorübergehende Wasserblüten, doch scheint ein großer Teil ihrer Entwicklung, ähnlich wie es für *Trichodesmium erythraeum* vermutet wird, sich am Grunde der Gewässer abzuspielen, wofür einigermaßen der Um-

stand spricht, daß nach den Angaben aus fischereilichen Kreisen der Grund des Zürichsees in dicker Schicht von dieser Alge überwuchert sein kann. Dadurch wird der in der Tiefe abgelegte Laich der Fische in eine dichte Masse von Algenfäden eingehüllt, wodurch er vielfach zugrunde geht.

Auf solche Weise kann sich vielleicht auch für andere Seen das sporadische Auftreten von Wasserblüten erklären. Für das Entstehen blutroter pelziger Schwimmschichten von *Euglena sanguinea* auf der Oberfläche mancher Alpenseen scheint nach den in der Literatur vorhandenen Angaben die Einschwemmung von Dungstoffen benachbarter Viehweiden verantwortlich zu sein, wie ja überhaupt viele *Euglenen* in ihrer Massenentwicklung Beziehung zu Mistauslaugungen und jauchigen Substanzen zeigen.

Bezüglich der Natur der für *Schizophyceen*-Wasserblüten in Betracht kommenden spezifischen Nährstoffe läßt sich die Vermutung aussprechen, daß sie der Grenze der Mineralisation nahe stehen dürften, denn große Teiche, welche mit Drainwässern gefüllt sind, also solchen, welche auf mindestens halber Mineralisationsstufe im Durchschnitt zu stehen pflegen, mithin β-mesosaproben Charakter tragen, neigen nach den bisherigen Erfahrungen nicht zu deutlicher Bildung solcher Wasserblüten, sondern erzeugen statt dessen mehr oder weniger ausgedehnte Fladen von Algen, wie *Spirogyra*, *Hydrodictyon*, *Vaucheria* und *Cladophora*. Die Entwicklung solcher Fladen kann unter Umständen so reichlich sein, daß zentnerschwere Massen entstehen können, welche bisweilen zum Verstopfen von Teichabflüssen und zum Belasten von Mühlenrädern führen.

Die für die Entwicklung von Wasserblüten, besonders solcher der *Schizophyceen*, in Betracht kommenden Substanzen dürften an verschiedenen Stellen verschiedener Natur sein, da sie bemerkenswerterweise hier die eine, dort die andere Gattung oder Art zur Entwicklung zu bringen pflegen, und dann meist in förmlichen Reinkulturen.

Natürliche Teiche und Seen, bei denen sich durch reichliche Schlammbildung die Höhe ihrer freien Wasserschicht mehr und mehr verringert, können eine bis zu einem gewissen Maximum gesteigerte Tendenz zur Bildung von Wasserblüte zeigen, besonders in warmen Sommern, wo durch die Verdunstung des Wassers eine, wenn auch geringe Konzentrierung der Nährstoffe eintritt.

Sicherlich wird sich an der Hand von Kulturen, physiologischen Versuchen und gleichzeitigen qualitativen und quantitativen ökologischen Beobachtungen künftig die genauere Kenntnis der für die Entwicklung von Wasserblüten im Süßwasser und im Meere in Betracht kommenden Faktoren wesentlich fördern lassen.

Benutzte Literatur.

Bethge H. (1) Das Havelplankton im Sommer 1911. — Ber. d. Deutschen Bot. Ges., 1911, Bd. 29, S. 496—504.

Brönsted u. Wesenberg-Lund (1), Chemisch-physikalische Untersuchungen der dänischen Gewässer. — Int. Rev. d. ges. Hydrobiol., 1912, Bd. 4, S. 474.

Hensen, V. (1), Das Plankton der östlichen Ostsee und des Stettiner Haffs. — 6. Ber. d. Kom. z. wiss. Unters. deutscher Meere f. d. Jahre 1887—1891, Berlin 1893.

Naumann, Einar (1) Beitrag zur Kenntnis von Vegetationsfärbungen im Süßwasser. — Botaniska Notiser, Lund. 1912. — Vgl. auch Int. Rev. 1913, Bd. 6.

Schütt, F. (1), Das Pflanzenleben der Hochsee. — In Krümmels Reisebeschreibung. Ergebn. d. Planktonexp. Bd. 1, 1892.

Strodtmann, S. (1), Die Anpassung der *Cyanophyceen* an das pelagische Leben. — Arch. f. Entw.-Mechanik, 1895, Bd. 1.

Wille, N. (1), Die *Schizophyceen* der Plankton-Expedition. — Erg. d. Pl.-Exd. d. Humboldt-Stiftung. Kiel u. Leipzig, 1904.